

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SONDA PRO TESTOVNÁNÍ RFID KARET NA 13.56 MHZ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

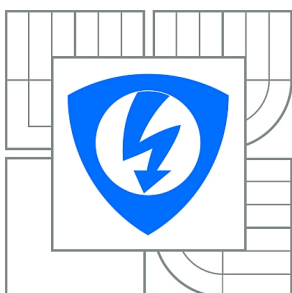
VIKTOR ZIGO

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SONDA PRO TESTOVNÁNÍ RFID KARET NA 13.56 MHZ

PROBE FOR RFID CARDS TESTS AT 13.56 MHZ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VIKTOR ZIGO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Dr. Techn. VOJTĚCH DERBEK

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Viktor Zigo

ID: 146136

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Sonda pro testování RFID karet na 13.56 MHz

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principy činnosti pasivních HF karet fungujících na frekvenci 13,56 MHz a stručně je popište. Seznamte se se standardem ISO 18047-3 definujícím metody pro testování komunikace na 13.56 MHz. Navrhněte vysokoimpedanční sondu pro měření výstupního napětí na standardizované testovací cívce. Sonda bude tvořit rozhraní mezi cívkou a 50-ohmovým vstupem signálového analyzátoru.

Zkonstruuje navrženou sondu a testovací cívky pro měření HF RFID karet. Ověřte parametry realizovaného systému měřením a proveďte zkušební test HF RFID karty, kterou dodá vedoucí práce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ISO/IEC 10373-7 Identification cards — Test methods — Part 7: Vicinity cards, ISO/IEC 2007.

[2] FINKENZELLER, K. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. Wiley & Sons, 2010.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 30.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Dr. Techn. Vojtěch Derbek

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá RFID technologií a návrhem sondy pro testování RFID zařízení na frekvenci 13,56 MHz. Vše ohledně testování těchto zařízení je popsáno ve Standardu ISO 18047-3. Cílem této práce je navrhnout a zkonstruovat impedanční přizpůsobení (sondu) mezi měřicí cívkou a SW radiem USRP N200 a jsou zde vysvětleny principy návrhu této sondy.

KLÍČOVÁ SLOVA

RFID, tag, čtečka, cívka, anténa, sonda, test

ABSTRACT

This thesis deals with RFID technology and the tag design for RFID device testing on the frequency of 13, 56 MHz. Everything regarding testing of such devices is described in ISO 18047-3 Standard. The target of this thesis is to design and construct the impedance matching (probe) between a proof coil and SW radio USRP N200 and the principles of this probe design are explained.

KEYWORDS

RFID, tag, reader, coil, antenna, probe, test

ZIGO, V. Sonda pro testování RFID karet na 13.56 MHz. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 014. 47.s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Dr. Techn. Vojtěch Derbek

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Sonda pro testování RFID jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Dr. Techn. Vojtěchu Derbekovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

(podpis autora)

OBSAH

1	Úvod	9
1.1	RFID	10
1.1.1	RFID technologie	10
1.1.2	RFID Tag	11
1.1.3	RFID čtečka (reader)	11
1.1.4	Dělení RFID systémů	13
1.1.5	Dle typu modulace nosné vlny	15
1.1.6	Výhody RFID	15
1.2	Standard ISO 18047-3	16
1.2.1	Testy pro ISO/IEC 18000-3 Mode 1	16
1.2.2	Testovací zařízení a testovací okruhy	16
1.2.3	Kalibrace cívky	16
1.2.4	Sestava čtečky	17
1.2.5	Referenční tag	17
1.2.6	Digitální vzorkovací osciloskop	18
1.2.7	Impedanční přizpůsobení sítě (Příloha C)	18
1.2.8	Naladění antény čtečky (Příloha D)	18
2	Návrh řešení	20
2.1	Koncepce zařízení	20
2.2	Výběr součástek	20
2.2.1	Výběr operačního zesilovače	20
2.2.2	Výběr multiplexoru	20
2.3	Funkce vybraných součástek v obvodu	21
2.3.1	Zapojení OZ jako Napětového sledovače	21
2.3.2	Zapojení OZ jako neinvertujícího zesilovače	22
2.3.3	Dělič napětí	23
2.3.4	Simulace obvodu	24
3	Realizace	26
3.1	První návrh	26
3.1.1	Oživení a simulace	26
3.2	Druhý návrh	26

3.2.1	Oživení a simulace	27
3.3	Třetí návrh.....	34
4	Závěr	35
	Seznam příloh	38

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Schéma pro znázornění RFID Systému	10
Obr. 1.2: RFID tag (převzato z [1]).....	11
Obr. 1.3: Stacionární RFID čtečka (převzato z [1])	12
Obr. 1.4: Mobilní RFID čtečka (převzato z [1])	12
Obr. 1.5: Komunikace mezi pasivním tagem a RFID čtečkou	13
Obr. 1.6: Komunikace mezi aktivním tagem a RFID čtečkou.....	13
Obr. 1.7: Příklad kalibrační cívky (převzato z [2])	17
Obr. 1.8: Příklad sestavení testovací čtečky (převzato z [2])	17
Obr. 1.9: Impedanční přizpůsobení sítě (převzato z [2])	18
Obr. 1.10: Nastavení kalibrace (převzato z [2]).....	19
Obr. 2.1: Logické úrovně přiváděné na řídicí vstupy multiplexoru	21
Obr. 2.2 Blokové schéma celého obvodu	21
Obr. 2.3: Zapojení operačního zesilovače jako napěťový sledovač.....	22
Obr. 2.4: Zapojení operačního zesilovače jako neinvertující zesilovač	22
Obr. 2.5: Dělič napětí (převzato z [3])	23
Obr. 2.6: Zapojení odporového děliče napětí.....	24
Obr. 2.7: Grafické znázornění simulace obvodu.....	25
Obr. 3.1: Vstupní sinusový signál	27
Obr. 3.2: Výstupní signál při zesílení $G = 1$	28
Obr. 3.3: Výstupní signál při zesílení $G = 0,5$	28
Obr. 3.4: Výstupní signál při zesílení $G = 0,25$	29
Obr. 3.5 Schéma odporového děliče (převzato z [3]).....	29
Obr 3.6: Výstupní signál pro dělicí poměr $G = 0,25$	30
Obr 3.7: Výstupní signál pro dělicí poměr $G = 0,5$	30
Obr. 3.8: Vstupní harmonický signál	31
Obr. 3.9: Výstupní signál při $G = 0,5$	32
Obr. 3.10: Výstupní signál při $G = 0,25$	32
Obr.3.11: Průběh signálu na vstupu operačního zesilovače (IC3)	33
Obr. 3.12: Průběh signálu na výstupu operačního zesilovače (IC3)	33
Obr. 3.13: Signál na výstupu celého obvodu	34

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.: Výsledky simulace pro sinusový signál	30
Tabulka 2.: Výsledky simulace pro obdélníkový signál.....	31
Tabulka 3.: Výsledky simulace pro trojúhelníkový signál	32

1 ÚVOD

V praxi se stále více prosazují elektronické systémy pro kontrolu přístupů do objektů, pro zvýšení komfortu uživatelů, kdy jsou klasické klíče nahrazeny identifikátory s rozšířenou funkcionalitou po celém objektu, ale také pro snadnější správu a změny v systému, kdy není třeba vyměňovat klíče, ale pouze se upraví seznam identifikátorů.

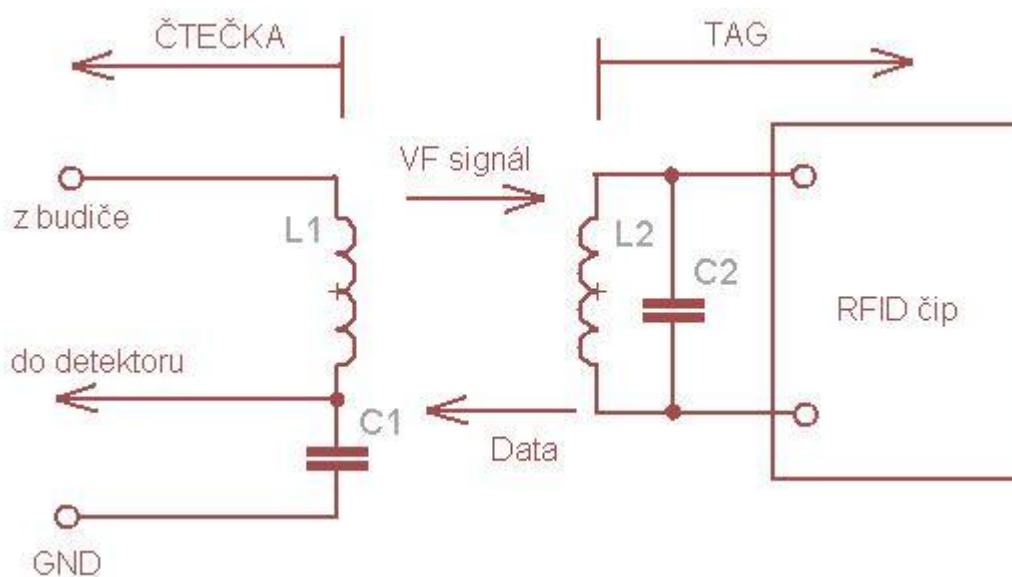
Cílem této práce je se seznámit se s možností testování RFID zařízení na frekvenci 13,56 MHz a poté navrhnout a zkonstruovat vysokoimpedanční sondu, která bude tvořit rozhraní mezi testovací cívkou RFID zařízení a SW radiem USRP N200.

1.1 RFID

1.1.1 RFID technologie

RFID (Radio Frekvenční Identifikace) slouží k přenosu a ukládání dat pomocí elektromagnetických vln.

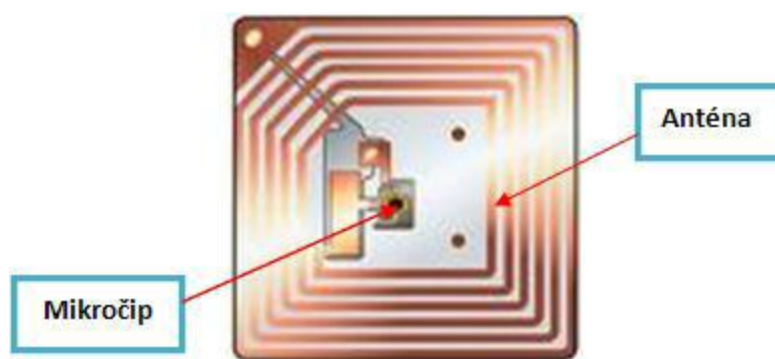
System je tvořen třemi součástmi, kterými jsou přijímač/vysílač (RFID čtečka) a nosič informace (RFID tag, transpondér). Čtečka vysílá prostřednictvím antény rádiové signály aktivující čip (tag) a provádí čtení a zápis jeho dat. Obvod je tedy schopen přijatá data dekodovat podle formátu vysílaného kartou (viz 1.1.3). Samotný tag je tvořen čipem (elektronický paměťový obvod) a cívkou neboli anténou. V případě, že tag je aktivní, musí být vybaven vlastním zdrojem energie (baterií). Všechny tyto součásti jsou následně umístěny na vhodně konstruované podložce z plastu nebo papíru. Poslední částí je nadřazený systém, který vyhodnocuje a zpracovává data přijatá RFID čtečkou.



Obr. 1.1: Schéma pro znázornění RFID Systému

1.1.2 RFID Tag

RFID tag je nosičem informace v RFID systému. Skládá se ze tří částí: čipu RFID, antény pro rádiovou komunikaci a zapouzdření. Pomocí tagu lze přenášenou informaci uložit do vnitřní paměti a dále přenést tento údaj celému RFID systému. Výrobci často používají označení „inlay“, což je čip spojený s anténou v tenké průhledné fólii. Zapouzdření může mít nejrůznější podoby (papírové etikety, karty, krabičky, atd.) a dodává čipu mechanickou odolnost, odpovídající cílovému prostředí. RFID tagy mohou být odolné v rozmezích teplot od -40°C do $+300^{\circ}\text{C}$. Velikost čipu je pouze 1 mm (dnes i méně). Největší součástí tagu je anténa, podle které se tedy odvíjí i celková velikost celého tagu. Obvykle platí, že čím větší je používaná frekvence, tím menší anténa může být. [1] [4]



Obr. 1.2: RFID tag (převzato z [1])

1.1.3 RFID čtečka (reader)

Stejně jako RFID tag se skládá ze tří částí. První částí je anténa. Čtečka může být v provedení s jednou anténou nebo se skládá z více antén, které jsou buď interní nebo externí. Druhou částí je rádiové rozhraní, ve kterém se zajišťuje proces modulace, demodulace, přenos a příjem přenášeného rádiového signálu. V praxi se velmi často používá oddělené cesty pro příjem a vysílání informace. Poslední částí čtečky je řídicí jednotka. Hlavním prvkem řídicí jednotky je mikroprocesor, jehož úkolem je zpracovávat přicházející data. Mikroprocesor pracuje společně s pomocnými obvody.

RFID čtečka působí mezi RFID tagem a řídicím počítačem. Má za úkol dodávat energii pasivním tagům. Dále lze pomocí čtečky přečíst data, které obsahuje tag a následně je poslat například do počítače, kde jsou dále zpracována. V případě prepisovatelných tagů do nich lze pomocí čtečky zapisovat potřebná data. Dále reader umožňuje například ověřovat tagy, aby se zabránilo podvodům nebo neoprávněným přístupům do systému. Pomocí readeru lze šifrovat i data. Čtecí/zapisovací jednotky mohou být konstruovány jako jeden přístroj nebo odděleně (samotný řídicí systém a anténa). Dále členíme čtečky na tzv. stacionární a mobilní. [1]

- **Stacionární čtečky**

“Bývají nepřenosné, jsou pevně vestavěné v určeném identifikačním bodu například vstup do skladu, začátek dopravníku (Obr. 1.3)



Obr. 1.3: Stacionární RFID čtečka (převzato z [1])

Tato zařízení mají externí anténu a své použití naleznou zejména ve čtecích branách nebo vysokozdvizných vozících. K řadě stacionárních čteček je možné připojit více antén, a tím zajisti lepší pokrytí prostoru čtecím signálem.“ [1]

- **Mobilní čtečky**

“U mobilních čteček jsou obě komponenty implementované ve společném pouzdře a jsou k dispozici jako zařízení pro udržení v ruce. Mohou být použity bez kabelů s dokovací stanicí k odesílání či nahrávání údajů nebo s kabelem přes sériové datové rozhraní k osobnímu počítači. U ručních čteček existují i zařízení schopná hybridního použití, která mohou snímat jak čárový kód, tak čistý RFID tag a zapisovat do něho (Obr. 1.4)“ [1]



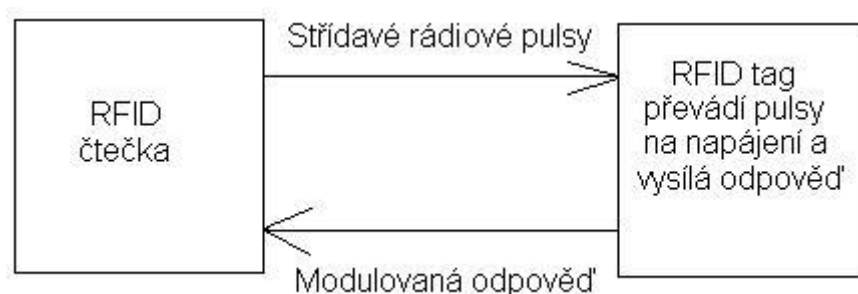
Obr. 1.4: Mobilní RFID čtečka (převzato z [1])

1.1.4 Dělení RFID systémů

- **Podle způsobu napájení**

- **Pasivní RFID**

Nemají vlastní zdroj energie. Obsahují kondenzátor, který slouží právě jako vlastní zdroj energie, ze kterého je tag napájen po přiblížení čtečky. Primárním účelem pasivních tagů je identifikace objektů. Mají zanedbatelné požadavky na údržbu, velmi dlouhou životnost a jsou cenově dostupnější než RFID aktivní. Praktická čtecí vzdálenost pasivních tagů je od 10 centimetrů do několika metrů. Komunikace mezi pasivním tagem a RFID čtečkou je uvedena níže (viz. Obr. 1.5). [1]



Obr. 1.5: Komunikace mezi pasivním tagem a RFID čtečkou

- **Aktivní RFID**

Mají vlastní zdroj energie, který využívají k napájení integrovaného čipu nebo k posílení signálu, který může být přijat RFID čtečkou do vzdálenosti až 100 metrů. Jsou schopny vysílat s větším vysílacím výkonem, tudíž mohou být použity i ve ztíženém prostředí. Jejich nevýhoda je ve složitosti a zároveň i ve vyšší nákladnosti na výrobu. Komunikace mezi aktivním tagem a RFID čtečkou je uvedena níže (viz. Obr. 1.6). [1]



Obr. 1.6: Komunikace mezi aktivním tagem a RFID čtečkou

- **Dle typu paměti**

- **Měnitelné**

Obsahují paměť typu EEPROM a je možné pomocí speciálních čteček umožňujících zápis modifikovat jejich identifikační data.

- **Jen pro čtení**

Tagy, určené pouze ke čtení, mají paměť pouze jednou zapisovatelnou, a to zpravidla při výrobě pomocí laserového paprsku. [1]

- **Dle frekvence nosné vlny**

Systémy RFID se provozují na různých vlnových délkách. Vlnovou délku lze vypočítat ze vztahu:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (1)$$

kde λ je vlnová délka rádiové vlny, c je rychlost světla a f je frekvence (kmitočet) rádiové vlny. Výběr frekvenčního pásma je při návrhu zařízení jedna z nejdůležitějších fází. Z této volby totiž později vyplývá celá řada dalších omezení. V každém kmitočtovém pásmu se tedy jednotlivé parametry liší. Za nejdůležitější parametry se považuje například dosah čtečky, rychlost čtení a zapisování, použitelnost v různém prostředí a další. Dále lze konstatovat, že se zvyšující se frekvencí roste vzdálenost, ve které je schopna RFID čtečka ještě komunikovat s RFID tagem. Ovšem čím vyšší je frekvence, tím více roste citlivost na problematické materiály například kovy, kapaliny a další.

RFID zařízení lze rozdělit do čtyř frekvenčních pásem:

- **LF (Low Frequency) pásmo 125 -134 kHz**

RFID zařízení pracující v tomto pásmu lze nazvat LF Tag. Nevýhodou LF pásma je velmi krátká čtecí vzdálenost, která nabývá řádu jednotek centimetru. Uváděná teoretická vzdálenost je cca do 20 cm. Další nevýhodou je přenosová rychlost. Tato technologie se využívá převážně k identifikačním účelům. Například identifikace zboží v obchodech nebo evidence docházky. V LF pásmu se převážně využívá pasivních RFID tagů (nepřepisovatelná paměť).

- **HF (High Frequency) pásmo 13,56 MHz**

Zařízení pracující v tomto pásmu lze nazvat HF Tag. Výhodou oproti LF tagu je vyšší čtecí vzdálenost až do 1 metru. Má dostatečnou přenosovou rychlost a zároveň poskytuje i vysokou spolehlivost v přítomnosti kovu. Systém HF využívá stejně jako LF pasivní tagy. Využívá se pro docházkové systémy nebo identifikační karty.

➤ **UHF (Ultra High Frequency) pásmo 860 - 960 MHz**

V dnešní době nejrozšířenější používané kmitočtové pásmo pro identifikaci zboží. Zároveň také může sloužit pro docházkové systémy, identifikace palet a další. Výhodou tohoto pásma je možnost přenosu informace na vzdálenost až několika metrů. Nevýhodou je obtížné čtení přes kapalinu nebo kov.

➤ **MW (Microwave) pásmo 2,45-2,48 GHz**

RFID zařízení pracující v pásmu MW má dosah až 10 metrů. Další výhodou je možnost čtení při extrémně vysokých rychlostech. Nevýhodou je vysoká cena. Na této frekvenci se pracuje s aktivními tagy (MW tag). MW pracuje v blízkosti frekvenčního pásma často používaných Wi-Fi sítí.

1.1.5 Dle typu modulační nosné vlny

- **ASK (Amplitude Shift Keying) – Amplitudová modulace**
Tento typ modulační je založen na změně amplitudy podle modulačního signálu. Pokud je modulační dvoustavová, rozlišují se dvě různé amplitudy nosné vlny.
- **FSK (Frequency Shift Keying) - Frekvenční modulace**
Je založena na změně frekvence podle modulačního signálu.[1]

1.1.6 Výhody RFID

RFID technologie si neklade za cíl nahradit čárové kódy, ale doplnit je o další možnosti. Výhod RFID systému je celá řada, například není nutná přímá viditelnost při čtení ani při zapisování. Další výhodou je odolnost vůči teplotě, vlhkosti a jiným vlivům prostředí. Hlavní výhody RFID: [1]

- Snížení chybovosti
- Vyšší stupeň automatizace
- Digitální získávání informací (rychlost, přesnost)
- Rychlost pořízení informace
- Možnost mnohačetného čtení
- Odolnost vůči vlivům prostředí

1.2 Standard ISO 18047-3

Je technická zpráva specifikující řadu testů, podle které se určuje shoda čtečky a tagu. Výsledky těchto testů jsou porovnávány s hodnotami parametrů uváděných ve Standardu ISO/IEC 18000-3, podle kterých se určí, zda tag testu odpovídá.

Není-li stanovisko jiné, testy se provádějí v prostředí s relativní vlhkostí 40 % - 60 % a teplotou okolí $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($73^{\circ}\text{F} \pm 5^{\circ}\text{F}$). Dle některých testovacích metod tagů, se musí prostředí stabilizovat čtyřicet hodin před začátkem testování. Výchozí tolerance je $\pm 5\%$, není-li definovaná jinak. Rezistory a kondenzátory zde mají zanedbatelnou indukčnost.

Nejistota měření musí být uvedena v protokolu o měření pro každou ze zkušebních metod. Základní informace jsou uvedeny v dokumentu "ISO GUIDE to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISNB 92-67-10188-9, 1993.

1.2.1 Testy pro ISO/IEC 18000-3 Mode 1

Shody testů pro ISO/IEC 18000-3 Mode 1, jsou popsány podle velikosti tagu. Pro testování tagu, který je menší nebo roven ID-1 (definováno v ISO/IEC 7810), jsou všechny rozměry uvedeny v příloze A, zatím co příloha B se vztahuje na tagy větší.

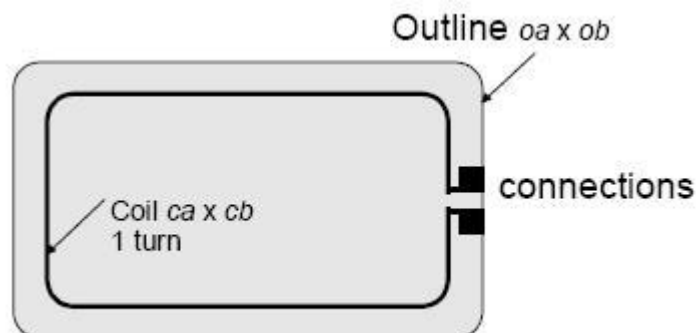
1.2.2 Testovací zařízení a testovací okruhy

Toto ustanovení definuje testovací zařízení a okruhy pro ověřování funkce tagu, dle základní normy. Test zahrnuje:

- Kalibraci cívky
- Zkušební sestavení čtečky
- Referenční tag
- Digitální vzorkování osciloskopu

1.2.3 Kalibrace cívky

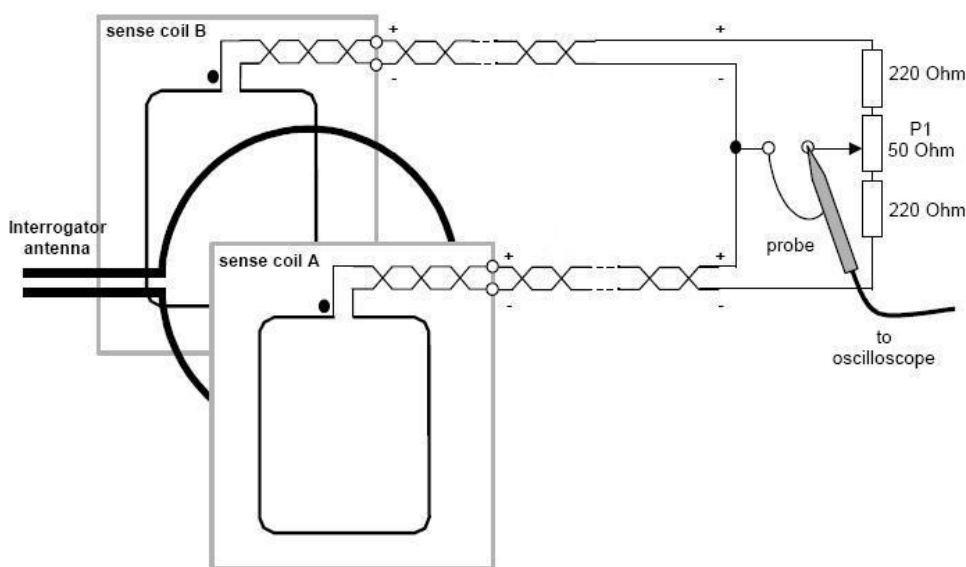
Kalibrační cívka musí obsahovat jeden závit a její výška a šířka jsou definované na obrázku (Obr. 1.7). Tvar závitu cívky musí být soustředný s tvarem tagu. Tloušťka plošného spoje kalibrační cívky musí být $0,76\text{ mm} \pm 10\%$ a je zhotovena z vhodného izolačního materiálu. Tištěná cívka na desce plošného spoje měla by být vyrobena z mědi o šířce $35\mu\text{m}$. Velikost připojovacích podložek musí být $1,5\text{ mm} \times 1,5\text{ mm}$. Vysoká impedance sondy osciloskopu (např. $>1\text{M}\Omega$, $<1\text{pF}$), se použije k měření napětí na cívce (naprázdno). Rezonanční frekvence celého souboru (cívky, spojovacího kabelu a sondy) musí být větší než 60 MHz.



Obr. 1.7: Příklad kalibrační cívky (převzato z [2])

1.2.4 Sestava čtečky

Sestava čtečky se skládá z antény čtečky a dvou paralelních cívek. Cívky jsou zapojeny tak, že signál z jedné cívky je v opačné fázi ke druhé. Potenciometr P1 slouží k jemnému nastavení rovnováhy, když cívka není zatížena tagem. Kapacitní zátěž sondy, včetně jeho parazitní kapacity musí být menší než 14 pF. Veškeré mechanické rozměry antény čtečky a ladění antény jsou uvedené v přílohách C a D Standardu ISO/IEC 18047-3.



Obr. 1.8: Příklad sestavení testovací čtečky (převzato z [2])

1.2.5 Referenční tag

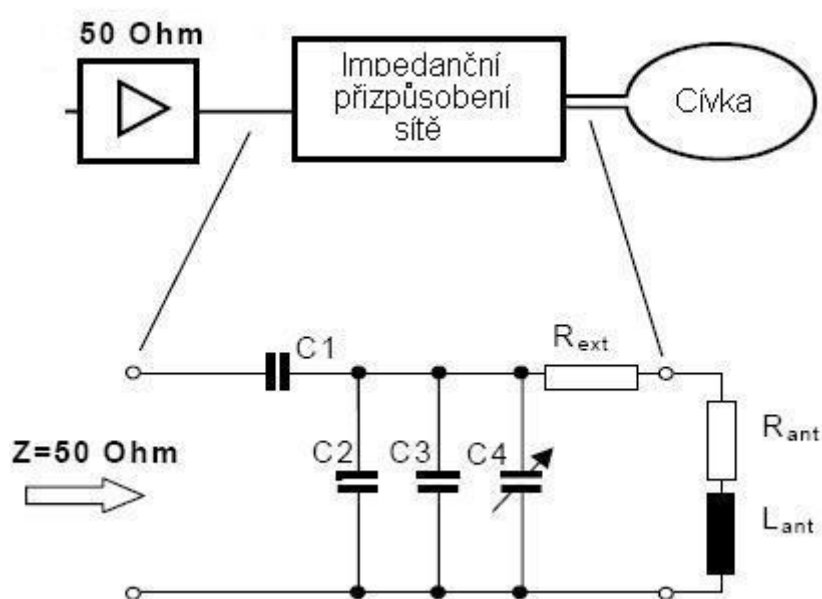
Referenční tagy jsou určené k testování minimální a maximální intenzity magnetického pole vytvořené čtečkou, a tak zjistit schopnost čtečky vybudit tag. Tvar testovací cívky musí být soustředný s obrysem referenčního tagu. Rozměry testovací cívky již byly uvedeny v kapitole 1.2.3.

1.2.6 Digitální vzorkovací osciloskop

Digitální osciloskop musí být schopen vzorkovat nejméně 100 milionů vzorků za sekundu s rozlišením nejméně osm bitů za sekundu. Zároveň by osciloskop měl mít funkce jako je například okénkování.

1.2.7 Impedanční přizpůsobení sítě (Příloha C)

Impedance antény (L_{ant} a R_{ant}) je přizpůsobeno k funkčnímu generátoru s impedancí $50\ \Omega$ pomocí odpovídajícího obvodu (viz. Obr. 1.9). Kondenzátory C1, C2 a C3 mají pevně dané hodnoty. Fázi lze nastavit pomocí proměnného kondenzátoru C4.



Obr. 1.9: Impedanční přizpůsobení sítě (převzato z [2])

1.2.8 Naladění antény čtečky (Příloha D)

Níže uvedený obrázek (Obr. 1.10) ukazuje jednoduchý postup ladění fázi, aby byla impedance antény přizpůsobena k impedanci generátoru.

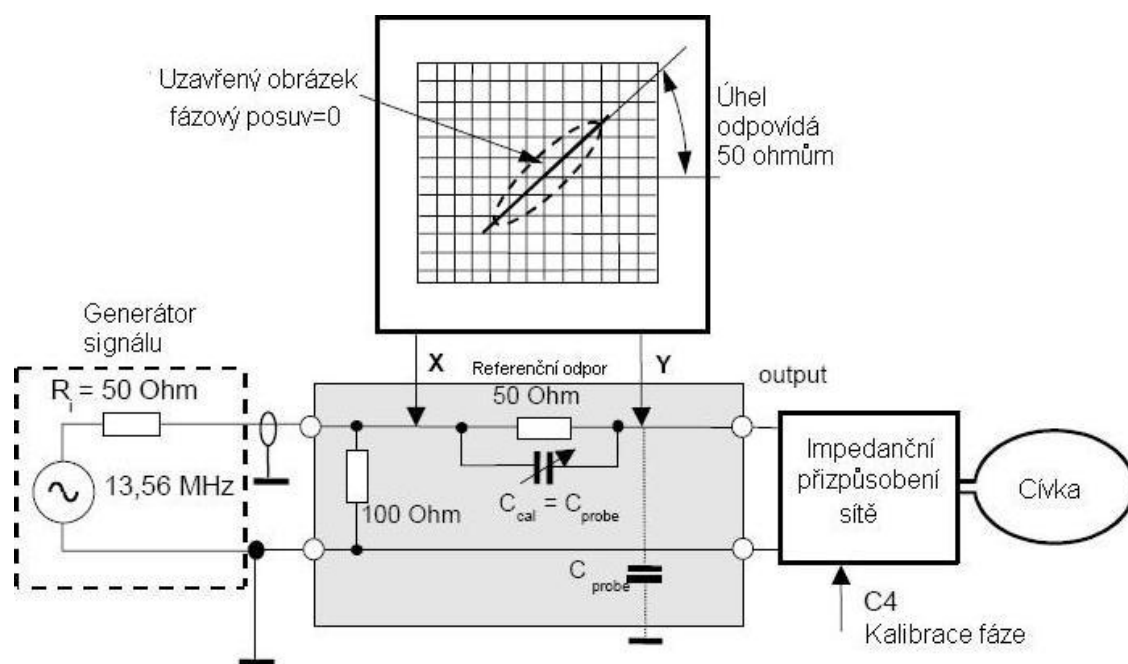
- **Krok 1:**

Velice přesný odpor s nominální hodnotou $50\ \Omega \pm 1\%$ (například BNC kabel), je vložen do signálového vedení mezi generátor signálu a konektor antény. Sondy osciloskopu jsou připojeny na obou stranách sériového referenčního odporu. Osciloskop zobrazuje Lissajousovy obrazce, když je nastavená časová osa na hodnoty X a Y. Generátor signálu je nastaven na frekvenci 13,56 MHz, tvar signálu je sinusový a amplituda je 2 V (efektivní hodnota) nebo 5 V (RMS). Výstup je zakončen také velice přesným odporem s nominální hodnotou $50\ \Omega \pm 1\%$. Sonda, která je připojena paralelně k výstupu má malou parazitní kapacitu C_{probe} . K sériovému

rezistoru je paralelně připojen proměnný kondenzátor, pomocí kterého se vyladí kompenzace sondy. Pokud $C_{cal}=C_{probe}$ je sonda kompenzována a fázový posuv je nulový. Zapojení bude stejné jako u kroku 2 s tím rozdílem, že na výstupu bude místo cívky a přizpůsobovacího obvodu připojen pouze rezistor s hodnotou právě $50\ \Omega$.

- **Krok 2:**

Vše je stejné jako v kroku 1, avšak na výstup se místo zmíněného odporu připojí přizpůsobovací obvod s výstupem antény (viz. Obr. 1.10). Kondenzátor C4 přizpůsobovacího obvodu se používá k vyladění fáze na nulu.



Obr. 1.10: Nastavení kalibrace (převzato z [2])

2 NÁVRH ŘEŠENÍ

2.1 Koncepce zařízení

Zařízení je koncipováno jako samostatná jednotka, která je napájena stejnosměrným symetrickým napětím ± 5 V. Zařízení má tři vstupy a jeden výstup. Na první dva vstupy je přiváděn signál z testovacích cívek pomocí BNC (SMA) kabelu. Na třetí vstup je přiváděn logický signál z SW rádia, kterým se řídí přepínače multiplexoru.

2.2 Výběr součástek

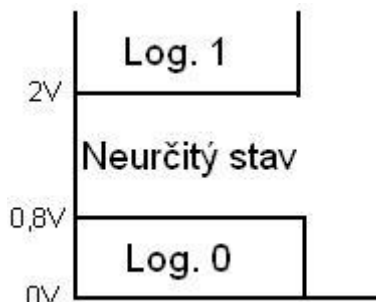
2.2.1 Výběr operačního zesilovače

Prvním krokem byl výběr operačního zesilovače. Základní kritérium pro výběr zesilovače byl velký vstupní odpor a malá kapacita. Dle standardu pro testování RFID na 13,56 MHz ISO/IEC 180047-3, musí být vstupní odpor větší než $1\text{ M}\Omega$ a kapacita menší než 14 pF . Dalším kritériem byla šířka pásma zesilovače, jelikož zařízení pracuje s modulovaným signálem o frekvenci 13,56 MHz. Poslední problémem, který je podstatný pro funkci obvodu je napájecí napětí. Vstupní signál by měl mít maximální hodnotu $7\text{ V}_{\text{P-P}}$, proto postačí symetrické napájení $\pm 5\text{ V}$. Jako vhodný byl vybrán výrobek firmy Analog Devices, a to operační zesilovač AD8001. Podle hodnot odečtených z datasheetu má tento zesilovač šířku pásma až 880 MHz při zesílení $G=+1$ a při zesílení $G=+2$ je to 440 MHz. Rozsah vstupního napětí se pohybuje v rozmezí $\pm 3\text{ V}$ až $\pm 6\text{ V}$. Vstupní kapacita zesilovače je $1,5\text{ pF}$ a vstupní odpor $10\text{ M}\Omega$.

2.2.2 Výběr multiplexoru

Multiplexor v obvodu má dvě základní funkce. Pomocí multiplexoru se vybírá, který ze vstupů bude na výstupu. Na vstupu je modulovaný signál ze čtečky antény a modulační signál z testovací cívky. Jeden z těchto signálů bude přiváděn na vstup SW rádia, které má rozsah napětí 0-1 V. Modulační signál z testovací cívky se pohybuje v řádu desítek milivoltů, tudíž je tento signál přiváděn přes integrované operační zesilovače přímo na výstup. Modulovaný signál ze čtečky antény je v rozmezí od 0 do 7 V. Snížení napětí v obvodu se dosáhne děličem napětí. Dělič napětí je navržený pomocí sítě R-2R a jeho dělicí poměry jsou $G=1$; $G=0,5$; $G=0,25$. Výstup z této sítě bude přiváděn právě na další vstupy multiplexoru. Pomocí logického signálu z SW radia se dosáhne potřebného dělicího poměru signálu nebo výběru ze dvou vstupních signálů. Při výběru multiplexoru je opět kladen důraz na jeho šířku pásma a napájecí napětí integrovaného multiplexoru. Vybrán byl 4 kanálový multiplexor od firmy Texas Instruments typ CD74HC4052BE. Šířka pásma přenášeného signálu je při napájecím napětí $\pm 4,5\text{ V}$ 185MHz. Napájecí napětí integrovaného obvodu se podle datasheetu může pohybovat v rozmezí $\pm 2\text{ V}$ až $\pm 6\text{ V}$. Maximální úroveň napětí logické nuly

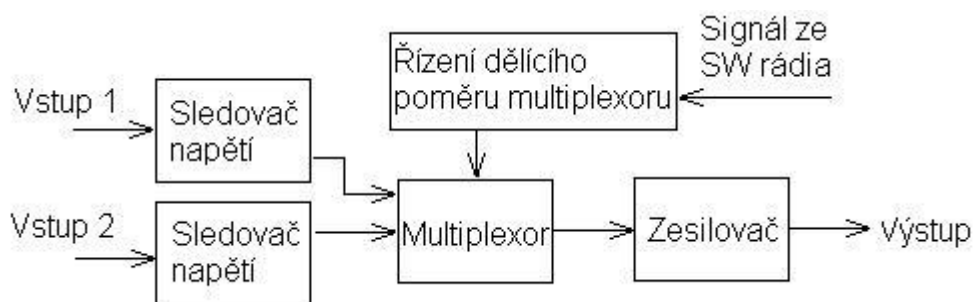
přiváděné na řídicí vstupy multiplexoru musí být 0,8 V. Naopak minimální úroveň logické jedničky přiváděné na řídicí vstupy musí být 2 V (viz Obr. 2.1).



Obr. 2.1: Logické úrovně přiváděné na řídicí vstupy multiplexoru

2.3 Funkce vybraných součástek v obvodu

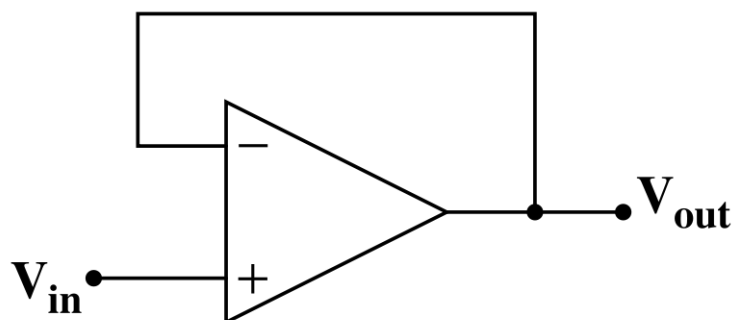
Z navržené koncepce obvodu je jasné, že obsahuje tři operační zesilovače. Z nichž první dva slouží jako sledovač napětí a třetí jako neinvertující zesilovač. Dalšími komponenty jsou multiplexor CD74HC4052BE a děliče napětí s koncepcí odporové sítě R-2R. Blokové schéma celého obvodu je vyobrazeno na obrázku (Obr. 2.2).



Obr. 2.2 Blokové schéma celého obvodu

2.3.1 Zapojení OZ jako Napět'ového sledovače

Ze zapojení operačního zesilovače zapojeného jako napět'ový sledovač (Obr. 2.3) je zřejmé, že vstupní signál je přiváděn na invertující vstup operačního zesilovače a výstup je zpětnou vazbou spojen s neinvertujícím vstupem operačního zesilovače. Jedná se o zvláštní případ neinvertujícího zesilovače, v němž je zpětnovazební odpor nulový. Teoreticky lze usuzovat velký vstupní odpor a velmi malý výstupní odpor. Kvůli této vlastnosti je tento obvod využíván pro impedanční přizpůsobení neznámých zdrojů signálu s neznámým odporem. Napět'ový sledovač je vlastně ideální zdroj napětí. Signál přivedený na vstup je ideálně na výstupu.

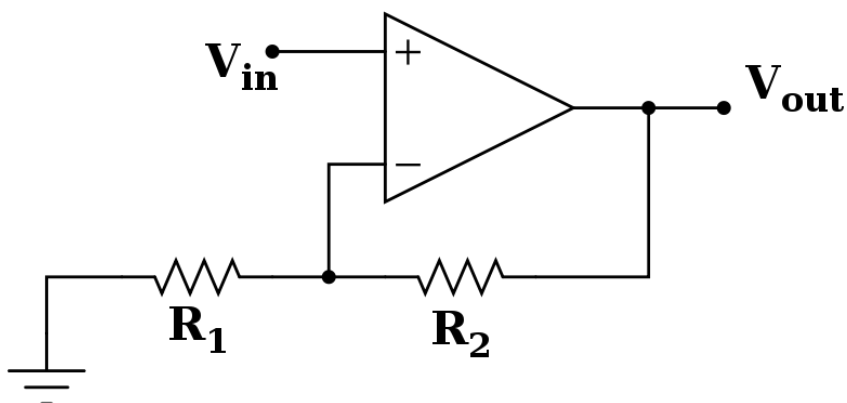


Obr. 2.3: Zapojení operačního zesilovače jako napěťový sledovač

Operační zesilovač má tedy ideálně v tomto případě napěťové zesílení 1, v praxi je však toto zesílení nepatrně menší. Ve zpětné vazbě by mohl být zapojen odpor, ale v tomto zapojení by neměl význam na funkci obvodu. V praxi se k napájecím pinům operačního zesilovače připojují blokovací kondenzátory, které zabraňují vysokofrekvenčnímu rušení. Umisťují se co nejblíže pinu integrovaného obvodu. Nejčastěji to je elektrolytický kondenzátor o jmenovité hodnotě 100 μF a keramický kondenzátor 100 nF.

2.3.2 Zapojení OZ jako neinvertujícího zesilovače

Ze zapojení na obrázku (Obr. 2.4) je zřejmé, že vstupní signál je přiváděn stejně jako u napěťového sledovače na invertující vstup operačního zesilovače. Neinvertující vstup je připojen k obvyklému odporovému děliči, který tvoří dva rezistory. Rezistoru R_2 zapojený ve zpětné vazbě (zpětnovazební) a vstupního rezistoru R_1 .



Obr. 2.4: Zapojení operačního zesilovače jako neinvertující zesilovač

Zesílení napěťového sledovače (viz kapitola 2.3.1) je v ideálním případě roven jedné. U neinvertujícího zapojení je zesílení dáno odporovým děličem. V tomto případě je tedy rozhodující poměr zpětnovazebního a vstupního rezistoru.

$$V_{out} = V_{in} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2)$$

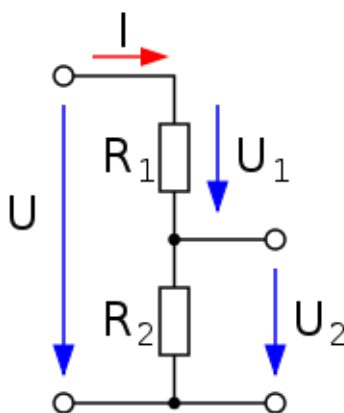
Jak je vidět ve vztahu (2), číslo jedna v závorce nám zaručí, že závorka bude vždy větší než jedna. V případě stejně velkých odporů R_1 a R_2 bude číslo v závorce rovno 2, z čehož vyplývá, že na výstupu zesilovače bude dvakrát větší napětí než na vstupu. Výstupní signál je ve fázi se signálem vstupním. Nejdůležitější z vlastností zesilovače je velký vstupní odpor. V případě připojení k měkkému zdroji nedochází k zatěžování zdroje. Tyto zesilovače jsou schopny pracovat jak se stejnosměrným, tak se střídavým signálem. Stejně jako v kapitole 2.3.1 je zapotřebí připojit na napájecí piny integrovaného obvodu blokovací kondenzátory, které blokují případné vysokofrekvenční rušení z napájecího zdroje. V našem případě bude zesilovač pomocí odporů nastaven tak, aby měl zesílení 2, jelikož bude na výstupu napětí kvůli ochrannému odporu a vstupnímu odporu SW radia poloviční.

2.3.3 Dělič napětí

Dalším prvkem v koncepci zapojení obvodu je dělič napětí (Obr. 2.5), pomocí kterého se dosáhne potřebného dělicího poměru a zároveň i velikosti výstupního signálu. Výstupní napětí je dáno vztahem:

$$U_2 = U * \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (3)$$

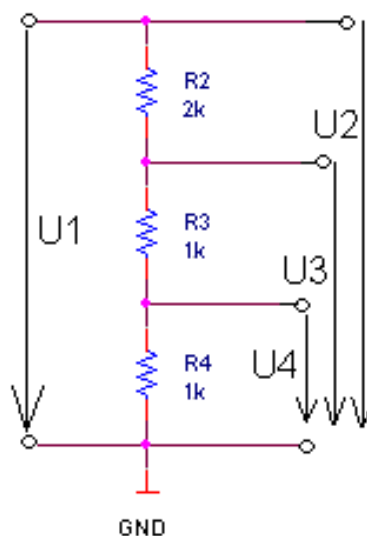
Pokud jsou odpory R_1 a R_2 stejné, bude výstupní napětí U_2 dvakrát menší, než je napětí vstupní.



Obr. 2.5: Dělič napětí (převzato z [3])

Ze schématu uvedeném v příloze A.1 je zřejmé, že byl navržen dělič napětí se třemi odpory (Obr 2.5). Napětí U_1 zde představuje napětí přivedené z cívky antény. Napětí U_2 bude stejné jako napětí vstupní, tudíž v tomto případě se nejedná o dělič napětí. Jedná se tedy o jedno ze tří zadaných dělicích poměrů (1; 0,5; 0.25). Dělicí poměr je roven jedné:

$$U_2 = U_1 \quad (4)$$



Obr. 2.6: Zapojení odporového děliče napětí

Podle rovnice (3), lze vypočítat hodnoty rezistorů pro dělicí poměr 0,5:

$$U2 = U1 * \frac{R3+R4}{R2+R3+R4} \Rightarrow 0,5 = \frac{R3+R4}{R2+R3+R4} \Rightarrow 0,5 = \frac{100+100}{200+100+100} \quad (5)$$

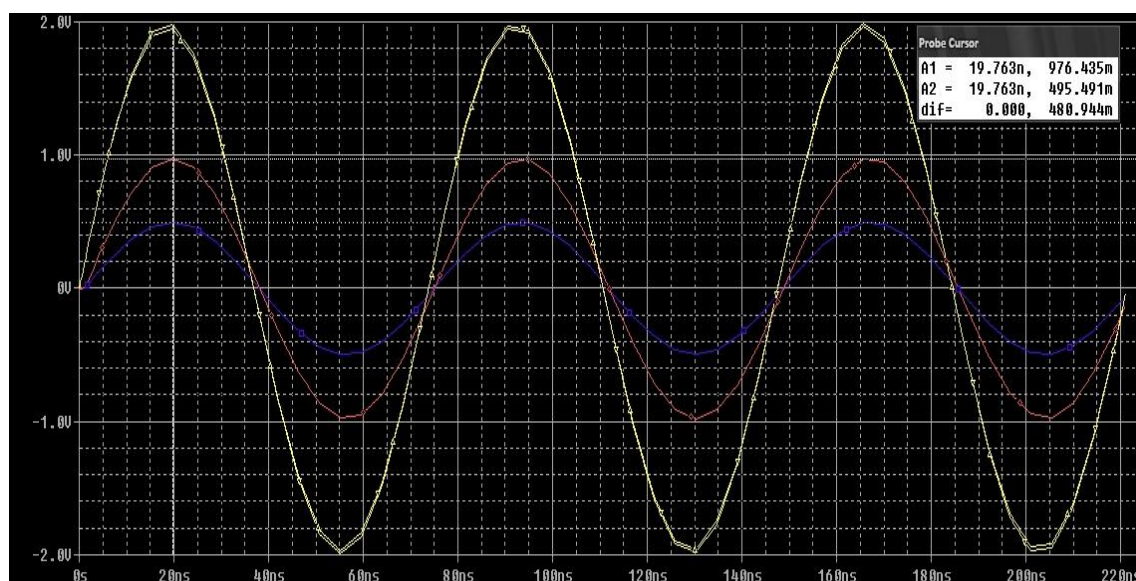
Potom tedy hodnoty odporů $R_2=200 \, \Omega$, $R_3=100 \, \Omega$, $R_4=100 \, \Omega$. Ten samý postup lze udělat pro výpočet dělicího poměru 0,25:

$$U2 = U1 * \frac{R4}{R2+R3+R4} \Rightarrow 0,5 = \frac{R4}{R2+R3+R4} \Rightarrow 0,25 = \frac{100}{200+100+100} \quad (6)$$

Výstupy jednotlivých děličů jsou přivedeny na vstupy multiplexoru. Pomocí logického signálu nastaví multiplexor požadovaný dělicí poměr a tedy i žádoucí signál na výstupu.

2.3.4 Simulace obvodu

Simulace obvodu byla provedena v programu Pspice. Na obrázku (Obr. 2.7) lze vidět žlutou barvou vstupní sinusový signál vstupující do obvodu. Jeho napětí je rovna přibližně 4 V_{P-P}. Signál vyznačený červenou barvou je oproti vstupnímu signálu poloviční, což lze vidět v pravém horním rohu obrázku. Jde tedy o signál, který je pomocí odporového děliče snížen na polovinu (dělicí poměr 0,5 viz kapitola 4.3.3). Třetí signál, který je zobrazen na obrázku simulace má fialovou barvu a znázorňuje vstupní signál snížený na čtvrtinu (dělicí poměr 0,25 viz kapitola 4.3.3). Snížení je provedeno opět pomocí odporového děliče.



Obr. 2.7: Grafické znázornění simulace obvodu

3 REALIZACE

3.1 První návrh

Podle navrženého schématu (příloha A1) byl zhotoven plošný spoj. Funkční výrobek měl být podle zadání konstrukčně vložen do SW rádia, proto na obou signálových vstupech obvodu měly být SMA popřípadě BNC konektory. V prvním návrhu se pracovalo s SMA konektory nejen na vstupu, ale i na výstupu navrženého obvodu. Operační zesilovače AD8001 na vstupech obvodu byly zapojeny jako sledovače napětí. Měřený signál z SMA konektoru byl přiváděn přímo na neinvertující (+) pin OZ, kdežto invertující pin (-) byl přímo spojen s výstupem OZ (zpětná vazba). Na napájecích vstupech OZ jsou filtrační kondenzátory. Keramický kondenzátor (jmenovitá hodnota 100 nF) je konstrukčně co nejbližší napájecím vstupům OZ. Signál z výstupu sledovače přiveden na vstup multiplexoru CD74HC4052, a to přes odporový dělič nebo přímo. Datový signál ze SW rádia, který je přiveden na konektor J4, řídí výběr dělicího poměru vstupního signálu. Výstup multiplexoru už je poté jen dvakrát zesílen posledním operačním zesilovačem a přiveden přes ochranný odpor na SMA konektor (J3).

3.1.1 Oživení a simulace

Po oživení DPS byly provedeny základní měření ohledně přenosu vstupního signálu na výstup. Pomocí generátoru harmonických průběhů byl na vstup zařízení přiveden sinusový signál, který byl na výstupu OZ značně zkreslený. Dalším nežádoucím problémem byla oscilace operačních zesilovačů. Zmíněný oscilační signál byl “namodulován” na přenášený vstupní průběh. V případě, kdy byl obvod napájen a vstup odpojen, byl na výstupu sledovače přibližně 50 MHz sinusový signál. Kvůli výše uvedeným problémům musely být v návrhu provedeny jisté změny. Mimo menší úpravy návrhu byl vybrán jiný operační zesilovač.

3.2 Druhý návrh

Z několika výše uvedených důvodů byl zhotoven druhý návrh celého zařízení (příloha A2). V prvním návrhu se prakticky nepočítalo s konstrukčním vložením výrobku do SW rádia. Zvolené SMA konektory byly kvůli mechanickému vložení do SW rádia zcela nevhodné. Bylo počítáno s tím, že celé zařízení bude upevněno pouze na distančních sloupcích, což by bylo velmi náchylné na mechanické poškození. Proto byly ve druhém návrhu vybrány BNC konektory, s nimiž bylo možné desku upevnit pomocí závitů konektorů přímo k zařízení (SW rádio).

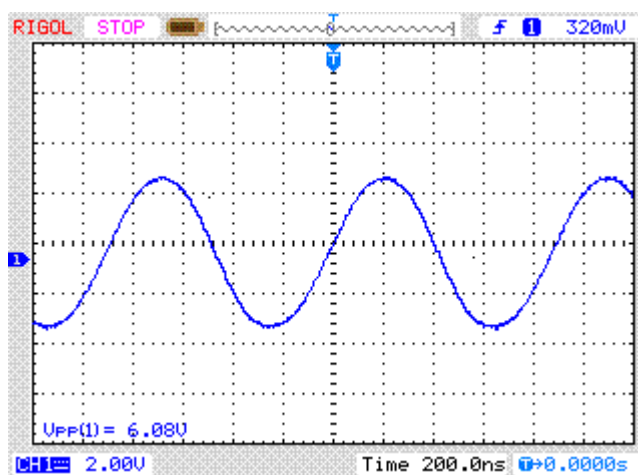
Další změnou bylo jiné uspořádání součástek na desce, kvůli limitovaným maximálním rozměrům v SW rádiu. Zařízení muselo mít maximální šířku 6,5 cm, délka musela být přizpůsobena tak, aby deska mohla být konstrukčně upevněna na distanční sloupky. Dále musela být změněna rozteč vstupních BNC konektorů a to hlavně po estetické stránce.

Kvůli oscilacím v prvním návrhu byl tedy vybrán jiný operační zesilovač a to zesilovač firmy Linear Technology LT 1226. Jeho hlavní výhodou byla velká šířka pásma až 1 GHz vstupní kapacita 2 pF a vstupní odpor až 40 M Ω . Operační zesilovač na výstupu obvodu však zůstal stejný jako v prvním návrhu. Na vstupy operačních zesilovačů byly připojeny ochranné diody respektive antiparalelní zapojení dvou diod, které zabezpečí ochranu vstupů. Tyto diody nemusí být vysokofrekvenční. V případě, že obvod pracuje správně, se tyto diody vůbec neuplatní.

V prvním návrhu byl obvod napájen ± 5 V. Ve druhém návrhu byl použit DC/DC převodník SIM1-0505S, pomocí kterého bylo vyrobeno potřebné napětí -5 V. Na napájecí piny obvodu je tedy přivedeno jen +5 V ze SW rádia. Padesáti ohmové odpory v napájení jednotlivých zesilovačů byly přidány pouze kvůli oživení a pozdějším simulacím obvodu.

3.2.1 Oživení a simulace

Po osazení a oživení byl obvod podroben simulační analýze, při které byl na jeho vstup přiváděn harmonický signál (sinus, obdélník a trojúhelník). Maximální frekvence generátoru byla 10 MHz. Navržená sonda tedy byla testována to této frekvence. Zařízení by však mělo fungovat i na žádaných frekvencích pro RFID (13,56 MHz). Na vstup (BNC konektor) zařízení byl přiveden sinusový signál o hodnotě $U_{ss} = 6V$ (viz. Obr. 3.1).

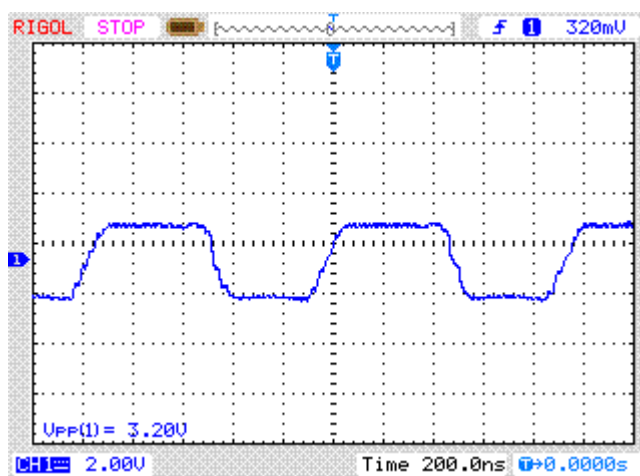


Obr. 3.1: Vstupní sinusový signál

V návrhu se počítá s $50\ \Omega$ zátěží na výstupu, proto při simulaci musel být na výstupu za posledním operačním zesilovačem provizorní odpor. V obvodu je dále možné řídit napětí na výstupu pomocí multiplexoru, který pomocí děliče podělí vstupní signál. Dělicí poměry mohou být 0,5 a 0,25.

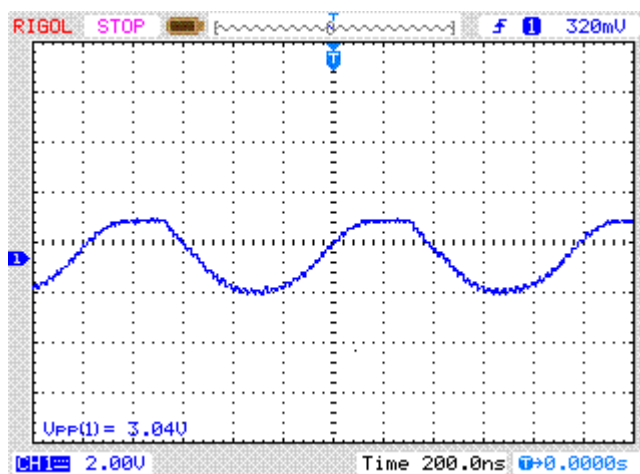
- **Sinusový signál**

Na obrázku (Obr.3.2) je znázorněn výstupní signál při zesílení $G=1$. Z datasheetu operačního zesilovače lze najít maximální hodnotu na výstupu operačního zesilovače při napájecím napětí $\pm 5V$. Signál je proto ořezán, jak je vidět na obrázku Obr.3.2.



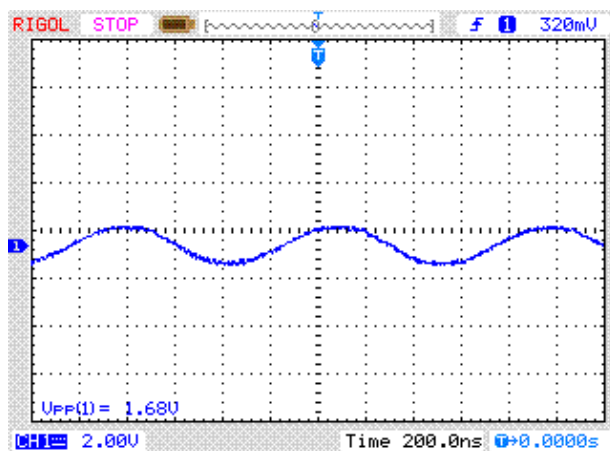
Obr. 3.2: Výstupní signál při zesílení $G = 1$.

Při dělicím poměru $G = 0,5$ by na výstupu měla být polovina vstupního napětí. V případě, že na vstupu je napětí $U_{ss} = 6V$ bude výstupní napětí $U_{ss} = 3V$ (viz. Obr. 3.3).



Obr. 3.3: Výstupní signál při zesílení $G = 0,5$.

Při dělicím poměru $G = 0,25$ by na výstupu měla být čtvrtina signálu vstupního (přibližně 1,5 V). Na obrázku (Obr. 3.4) je hodnota výstupního napětí 1,68 V, což je o 0,16 V větší, než předpokládaná hodnota.

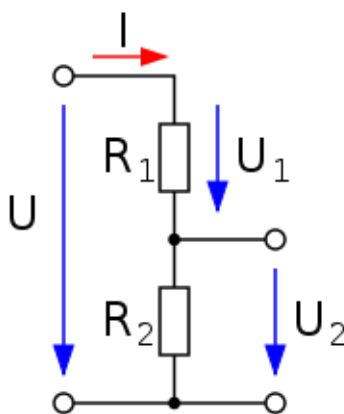


Obr. 3.4: Výstupní signál při zesílení $G = 0,25$.

Z výsledku je patrná nepřesnost 10,52 %. Lze vypočíst maximální chybu, která může nastat nepřesností odporů v odporovém děliči. Jmenovité hodnoty odporů zde jsou: $100 \Omega \pm 1\%$ a $200 \Omega \pm 1\%$. Maximální chybu lze vypočítat ze vztahu pro odporový dělič (3):

$$U = U \cdot \frac{R_2}{R_1} = 6 \cdot \frac{101}{198 + 99 + 101} = 6 \cdot 0,254 = 1,523 \text{ V}$$

Při vzetí tolerancí jednotlivých odporů může být maximální chyba odporového děliče 0,023 V, což odpovídá chybě 1,53%. Chyba tedy nemůže být způsobena nepřesností odporů, ale je způsobena oscilací operačních zesilovačů (viz Obr 3.12). Při větších vstupních napětí signálu je procentní chyba zanedbatelnější.



Obr. 3.5 Schéma odporového děliče (převzato z [3])

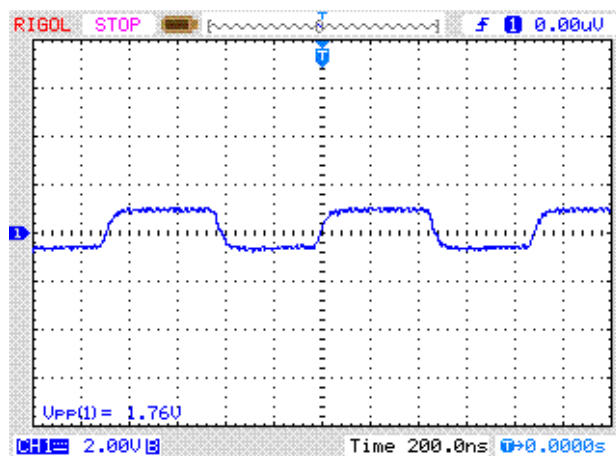
Sinusový signál			
G [-]	1	0,5	0,25
Vstupní signál [V]	6,08	6,08	6,08
Očekávaná hodnota na výstupu [V]	6,08	3,04	1,52
Skutečná hodnota na výstupu [V]	3,2	3,04	1,68
Procentuální chyba [%]	-	0	10,52

*pozn.: G je dělicí poměr odporového děliče na vstupu multiplexoru

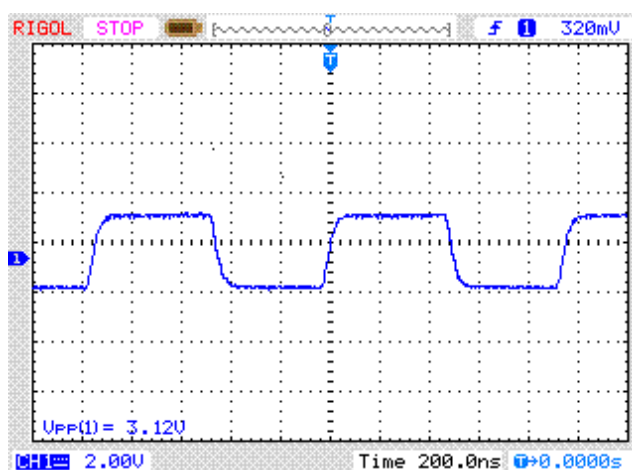
Tabulka 1.: Výsledky simulace pro sinusový signál

• Obdélníkový signál

Pomocí sondy byl přenášén i obdélníkový harmonický signál. Grafy vstupního a výstupních signálů pro výše zmíněné dělicí poměry jsou uvedeny níže. Vstupní signál o jmenovité hodnotě $U_{ss} = 6,08 \text{ V}$.



Obr 3.6: Výstupní signál pro dělicí poměr $G = 0,25$.



Obr 3.7: Výstupní signál pro dělicí poměr $G = 0,5$.

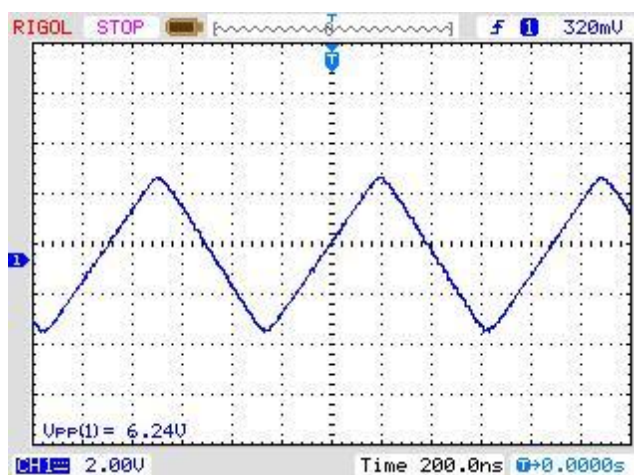
Obdélníkový signál			
G [-]	1	0,5	0,25
Vstupní signál [V]	6,08	6,08	6,08
Očekávaná hodnota na výstupu [V]	6,08	3,04	1,52
Skutečná hodnota na výstupu [V]	3,2	3,12	1,76
Procentuální chyba [%]	-	2,6	15,79

*pozn.: G je dělicí poměr odporového děliče na vstupu multiplexoru

Tabulka 2.: Výsledky simulace pro obdélníkový signál

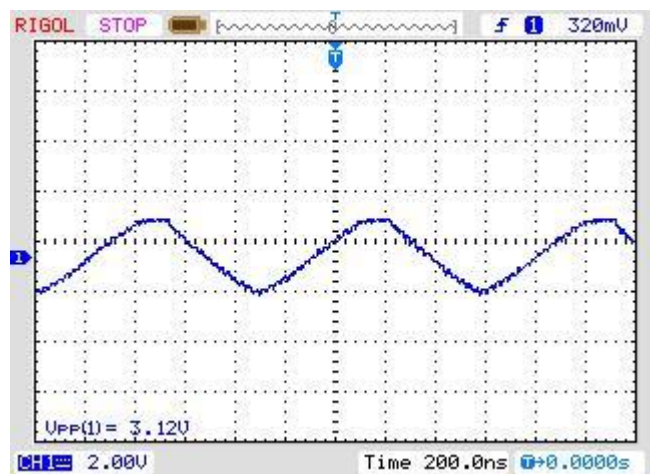
• Trojúhelníkový signál

Obvod byl testován i na trojúhelníkovém harmonickém signálu. Vstupní signál měl jmenovitou hodnotu $U_{\text{ss}} = 6,24\text{V}$.

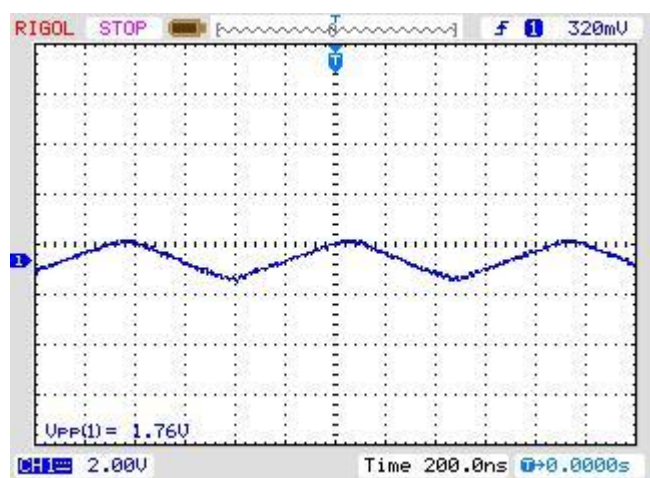


Obr. 3.8: Vstupní harmonický signál

Výstupní signál při $G = 1$ měl být shodný se signálem na vstupu obvodu. Nicméně problém byl stejný jako v případě obrázku Obr. 3.2 sinusového signálu, kdy je signál “ořezán” z důvodu napájecího napětí operačního zesilovače. Při dělicím poměru $G = 0,5$, měl podle předpokladů signál na výstupu poloviční hodnotu (viz Obr. 3.9). A při dělicím poměru $G=0,25$ nastala stejná chyba jako u simulace sinusového signálu. Hodnota napětí výstupního signálu měla být $U_{\text{ss}} = 1,56\text{ V}$. Naměřená hodnota byla však $1,76\text{ V}$. Procentní chyba (cca 13%), je tedy opět způsobena oscilacemi operačního zesilovače AD8001N.



Obr. 3.9: Výstupní signál při $G = 0,5$



Obr. 3.10: Výstupní signál při $G = 0,25$

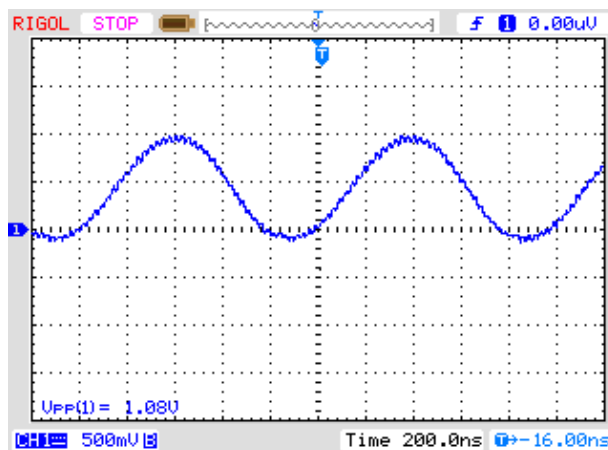
Trojúhelníkový signál			
G [-]	1	0,5	0,25
Vstupní signál [V]	6,24	6,24	6,24
Očekávaná hodnota na výstupu [V]	6,24	3,12	1,56
Skutečná hodnota na výstupu [V]	3,2	3,12	1,76
Procentuální chyba [%]	-	0	12,82

*pozn.: G je dělicí poměr odporového děliče na vstupu multiplexoru

Tabulka 3.: Výsledky simulace pro trojúhelníkový signál

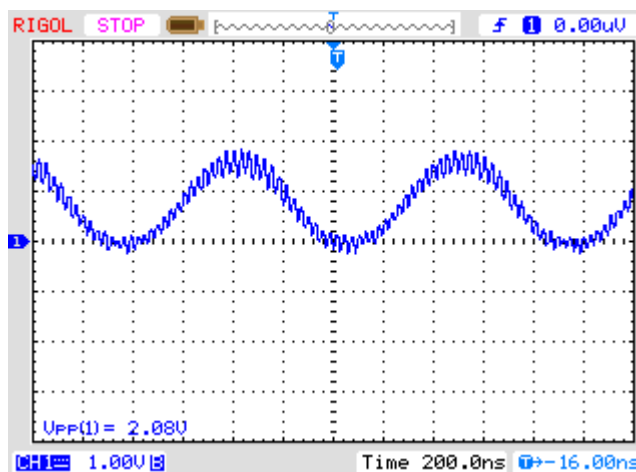
Podle schéma zapojení (viz A2) je výstupní operační zesilovač (IC3) zapojen jako zesilovač se zesílením 2. Na výstupu tohoto zesilovače je tedy (při dělicím poměru $G = 1$) dvakrát větší napětí, než je přiváděno na vstup celého obvodu. Následující grafy ukazují průběhy na zmíněném výstupním operačním zesilovači.

V průběhu (Obr. 3.11) je viditelné zašumění signálu. Je patrné, že tento šum je způsoben oscilací operačního zesilovače s přibližnou frekvencí 35 MHz.



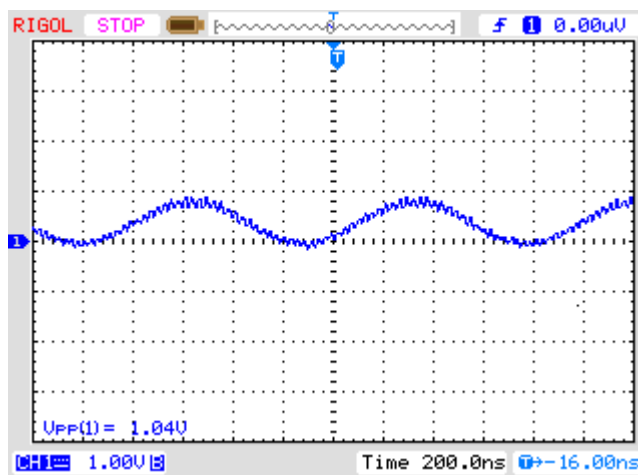
Obr.3.11: Průběh signálu na vstupu operačního zesilovače (IC3)

Na následujícím grafu (Obr. 3.12) je vyobrazen signál na výstupu operačního zesilovače. Tento zesilovač musí vstupní signál zesílit na dvojnásobnou hodnotu. Nezesílí se tedy jen požadovaný signál, ale i signál oscilační, který je namodulovaný na signál přenášený. Požadovaná hodnota signálu na výstupu by v tomto případě byla $U_{\text{ss}} = 2 \text{ V}$. Z grafu (Obr. 3.12) lze vyčíst hodnotu $U_{\text{ss}} = 2,08 \text{ V}$. Procentuální chyba v tomto případě je tedy 4%.



Obr. 3.12: Průběh signálu na výstupu operačního zesilovače (IC3)

V zapojení se počítá s $50\ \Omega$ zátěží. Za operačním zesilovačem je $50\ \Omega$ ohmový odpor, který slouží jako ochranný a zároveň jako člen výstupního děliče napětí. Na výstupu celého obvodu má být signál stejný jako je na vstupu. Výstupní signál $U_{\text{ss}} = 1,04\ \text{V}$ (viz Obr. 3.13). Procentuální chyba vůči požadovanému signálu $U_{\text{ss}} = 1\ \text{V}$ je tedy opět 4%. Vzniklá chyba je způsobena oscilacemi operačního zesilovače.



Obr. 3.13: Signál na výstupu celého obvodu

• Shrnutí

V případě, že byl přiváděn na vstup harmonický signál s větší amplitudou a dělicí poměr $G = 1$, nebyla na hodnotě výstupního signálu pozorována výraznější chyba. Tvaru signálu byl však zkreslen oscilacemi operačního zesilovače. Při dělicím poměru $G = 0,25$ byla zřetelná i chyba na jmenovité hodnotě výstupního signálu a to kolem 10 %. Lze tedy usoudit, že při výběru lepšího operačního zesilovače, který by nevnášel do přenosu signálu chyby, bude obvod pracovat bez výraznějších chyb.

3.3 Třetí návrh

Z druhého návrhu je patrné, že operační zesilovače AD8001 v tomto zapojení oscilují. Ve třetím návrhu byla deska plošných (DPS) spojů zjednodušena. Z desky byly odstraněny odpory do napájení OZ a DC/DC převodník. Cílem bylo zjistit, jestli se v tomto zapojení se bude opět projevovat na výstupním signálu oscilace zesilovačů. Při napájecím napětí $\pm 5\ \text{V}$ s připojenou ryze odporovou zátěží (odporový dělič) se na výstupu zesilovače opět projevovaly oscilační jevy. Pro toto zapojení s napájecím napětím $\pm 5\ \text{V}$ jsou tyto operační zesilovače nevhodné. Adekvátní náhradou budou zesilovače LT1226.

4 ZÁVĚR

V bakalářské práci byla nastudována teorie o problematice RFID technologie, rozdělení podle druhu čipů a dále podle frekvence, na které komunikují. Teoretická část práce dále popisuje základní problematiku testování RFID zařízení na frekvenci 13,56 MHz. V další části dokumentu je objasněn výběr součástek a zobrazena simulace navrženého obvodu.

V praktické pasáži byl vypracován návrh zařízení v programu Eagle, rozvržení součástek na DPS a simulace obvodu. Při simulacích navrženého obvodu se vyskytl problém s oscilacemi operačních zesilovačů. Zjištěný problém měl být odstraněn novým návrhem celého zařízení. Nová struktura zařízení měla být lepším východiskem i pro následnou mechanickou konstrukci DPS do SW radia. V tomto návrhu byl zvolen jiný operační zesilovač pouze na signálové vstupy zařízení. Tyto zesilovače nebyly zdrojem nežádoucích oscilačních vlivů. V dokumentu jsou popsány a znázorněny simulace zařízení, ze kterých je zřejmé, že operační zesilovač na výstupu měl být stejný jako zesilovače na vstupu. Kvůli nevhodnému typu zesilovače byl na výstupu zařízení opět zkreslený signál. Zkušební test HF RFID karty pomocí SW rádia nebyl úspěšný. Hlavním důvodem bylo zničení operačního zesilovače, který i při následných simulacích obvodu již nebyl funkční. V konečné fázi byl navržen třetí návrh, ve kterém byl kladen důraz na odstranění příliš klikatých cest na DPS a odstranění odporů z napájení operačních zesilovačů. Hlavním úkolem třetího návrhu bylo otestovat operační zesilovač AD8001 v upraveném zapojení. Zmíněné změny však nevedly k úspěchu odstranění nežádoucích oscilačních vlivů. V případě použití operačních zesilovačů LT 1226, by mělo být zařízení funkční.

LITERATURA

- [1] SOMMEROVÁ, Martina. Základy RFID technologií: Výukový materiál [online].[cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://rfid.vsb.cz/export/sites/rfid/cs/informace/RFID_pro_Logistickou_akademii.pdf.
- [2] ISO/IEC 18047-3. Information technology, Automatic identification and data capture techniques — Radio frequency identification for item management — Part 3: Test methods for air interface communications at 13,56 MHz. Ženeva: ISO copyright office, 2003.
- [3] BRANČÍK, L.; DOSTÁL, T. Analogové elektronické obvody. REL0715. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007. s. 1-193.
- [4] MACŮREK, Filip. Radiofrekvenční identifikace RFID a její použití v automatizaci a logistice. [online]. [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30654.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

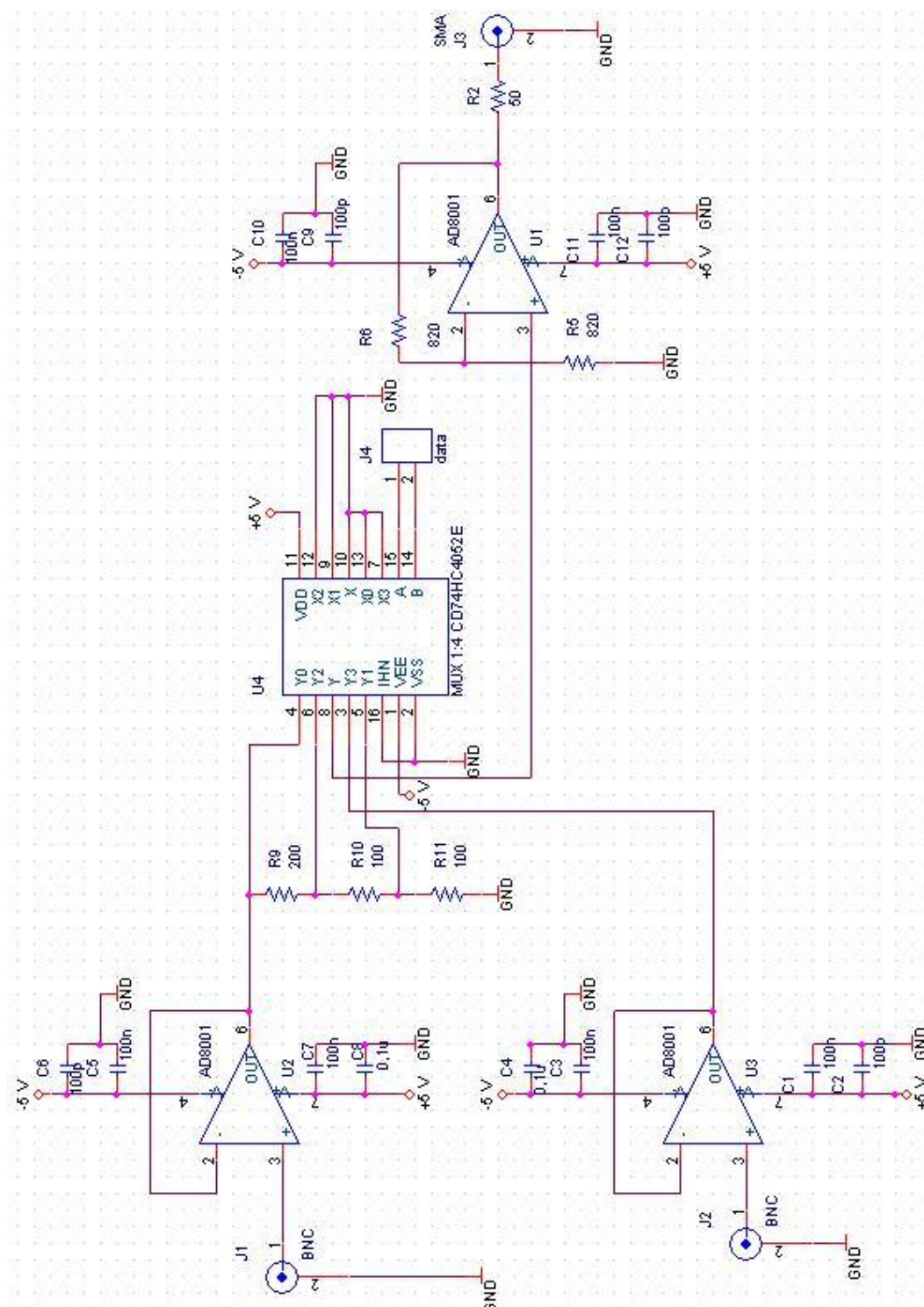
Tag	Štítek, jmenovka
RFID	Radio Frequency Identification – Identifikace pomocí rádiových vln
PVC	Polyvinylchlorid
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – elektricky mazatelná a programovatelná paměť pro čtení
λ	Vlnová délka
c	Rychlost světla ve vakuu
f	Frekvence
LF	Low Frequency – nízké frekvence
HF	High Frequency – vysoké frekvence
UHF	Ultra High Frequency – ultra vysoké frekvence
DPS	Deska plošných spojů (anglicky PCB)
OZ	Operační zesilovač

SEZNAM PŘÍLOH

A Dokumentace HW	39
A 2 Schéma obvodu - Návrh 1	39
A 3 Schéma obvodu - Návrh 2	40
A 4 Desky plošných spojů (DPS) – Návrh 1	41
A 5 Desky plošných spojů (DPS) – Návrh 2	42
A 6 Desky plošných spojů (DPS) – Návrh 3	43
A 7 Seznam součástek (Návrh 2)	44
A 8 Fotodokumentace	46

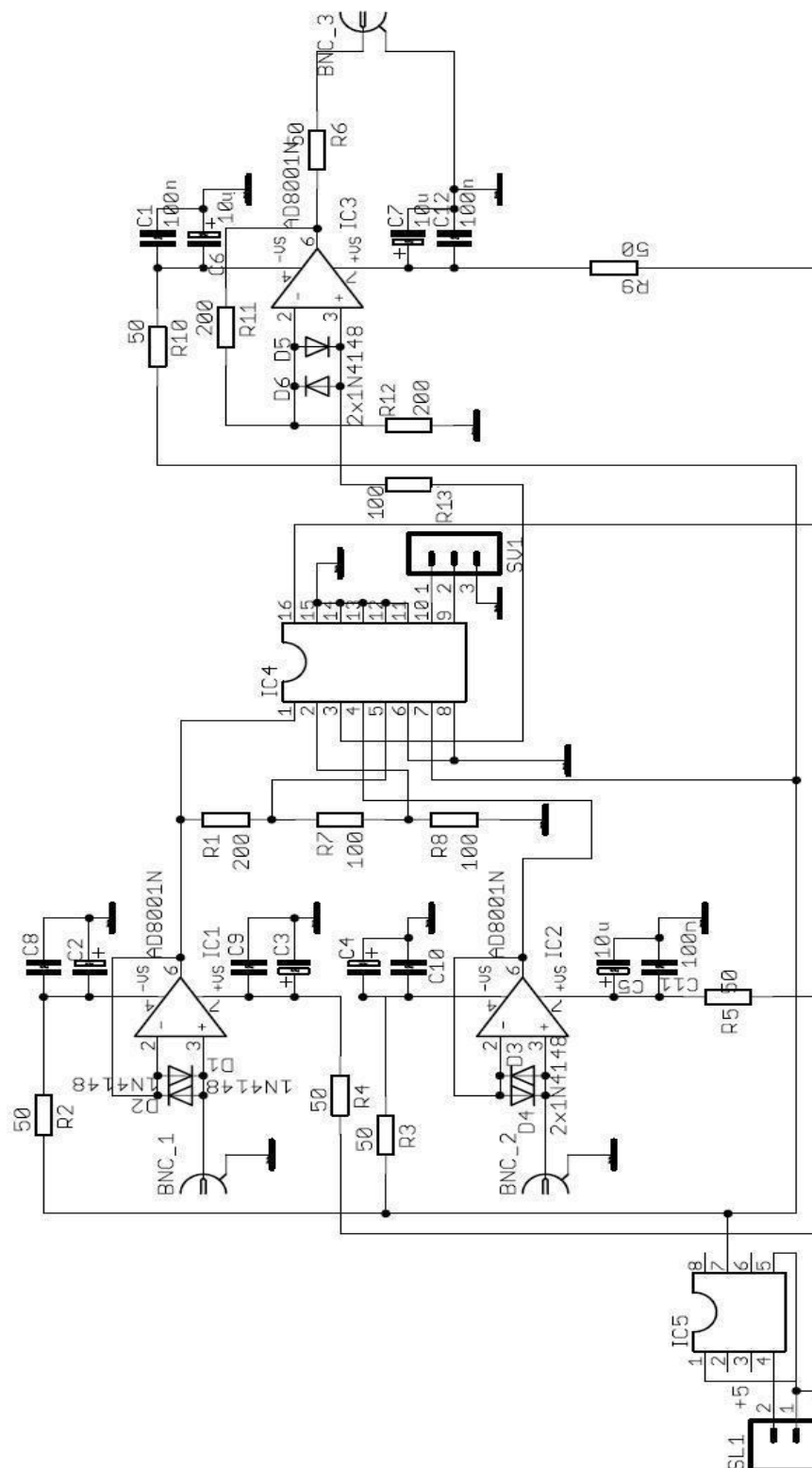
A Dokumentace HW

A 1 Schéma obvodu - Návrh 1



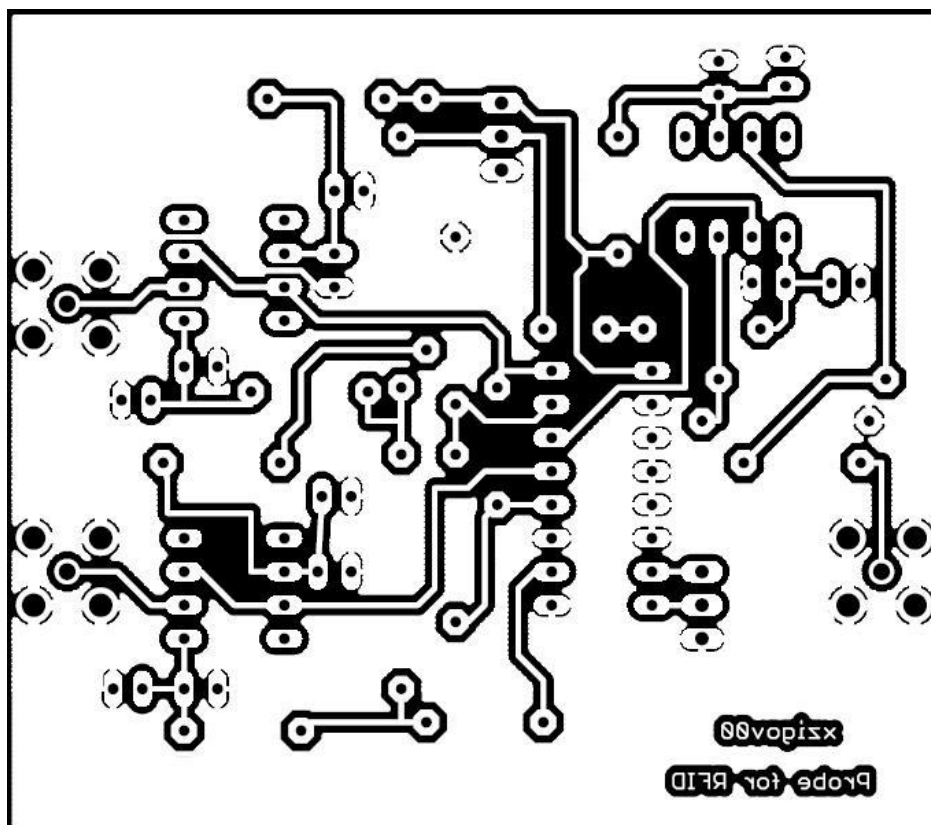
Obr. A 1: Schéma zapojení sondy (Návrh 1)

A 2 Schéma obvodu - Návrh 2

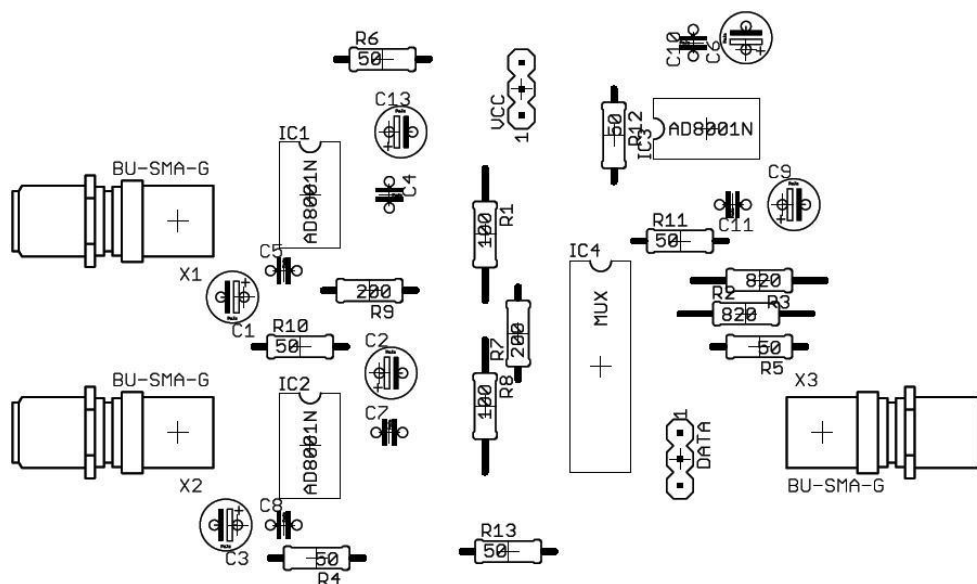


Obr. A 2: Schéma zapojení sondy (Návrh 2)

A 3 Desky plošných spojů (DPS) – Návrh 1

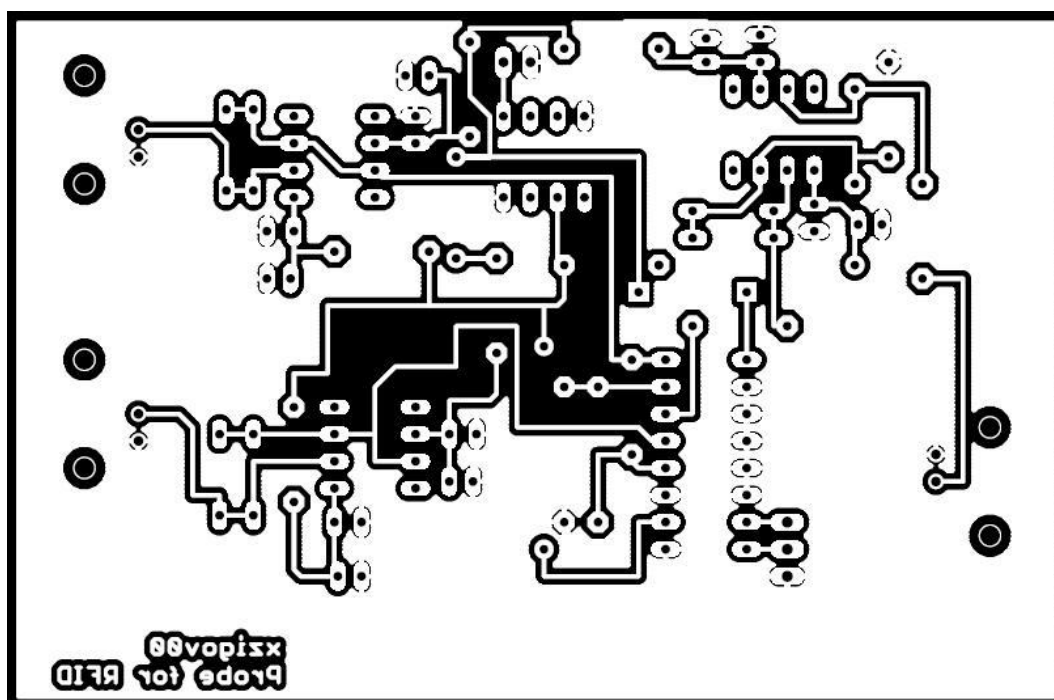


Obr. A 3: Náčrtek DPS sondy (Návrh 1)

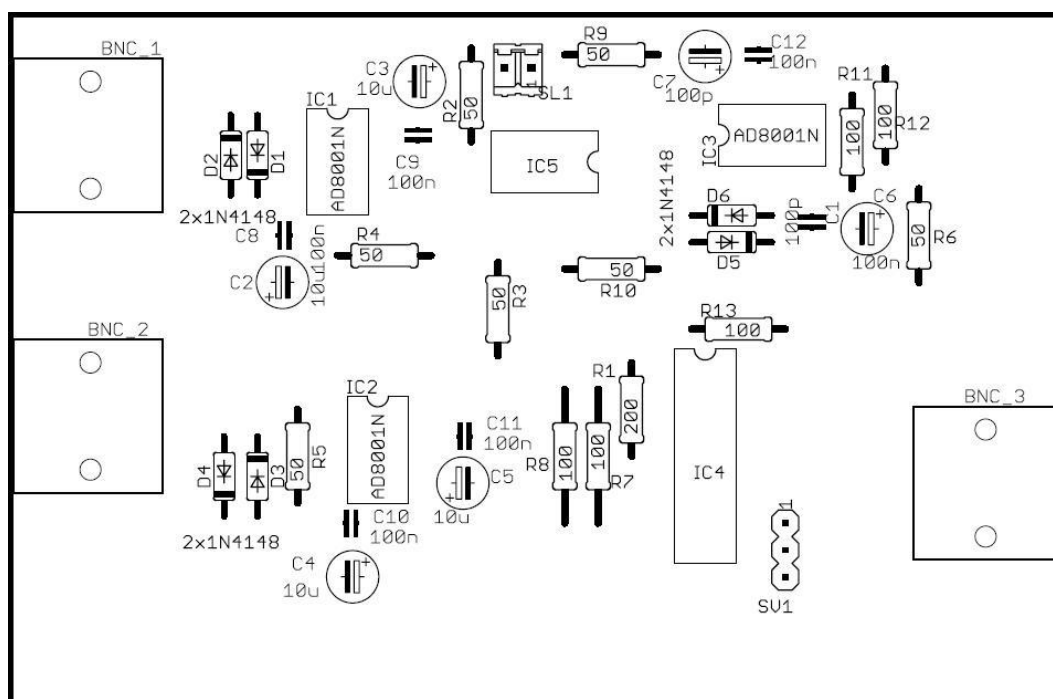


Obr. A 4: Osazovací výkres DPS sondy (Návrh 1)

A 4 Desky plošných spojů (DPS) – Návrh 2

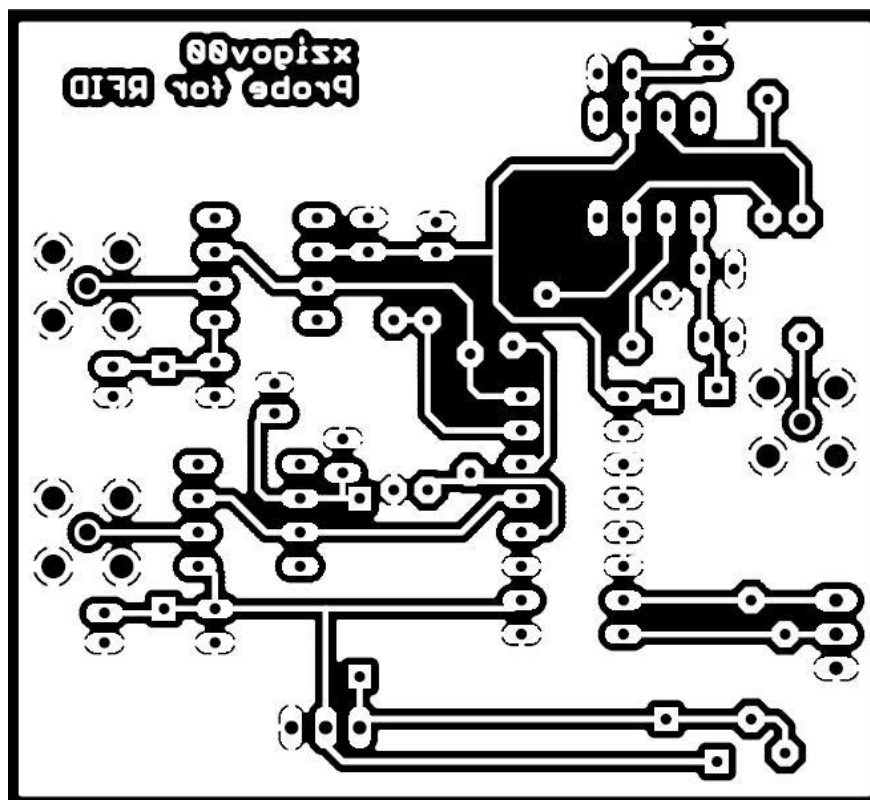


Obr. A 5: Výkres DPS sondy (Návrh 2)

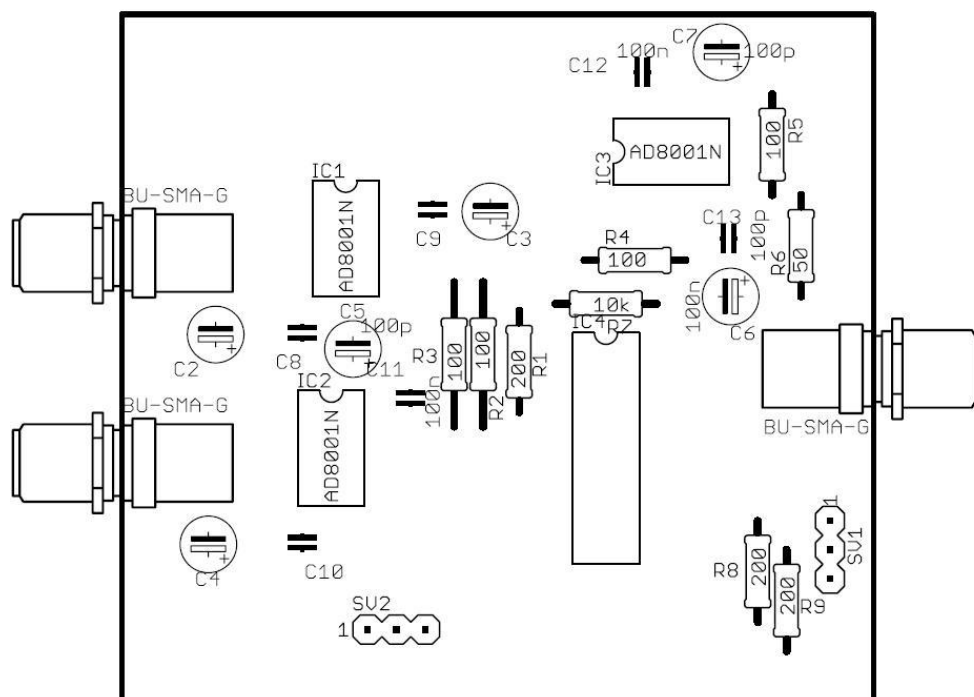


Obr. A 6: Osazovací výkres DPS sondy (Návrh 2)

A 5 Desky plošných spojů (DPS) – Návrh 3



Obr. A 7: Výkres DPS sondy (Návrh 3)



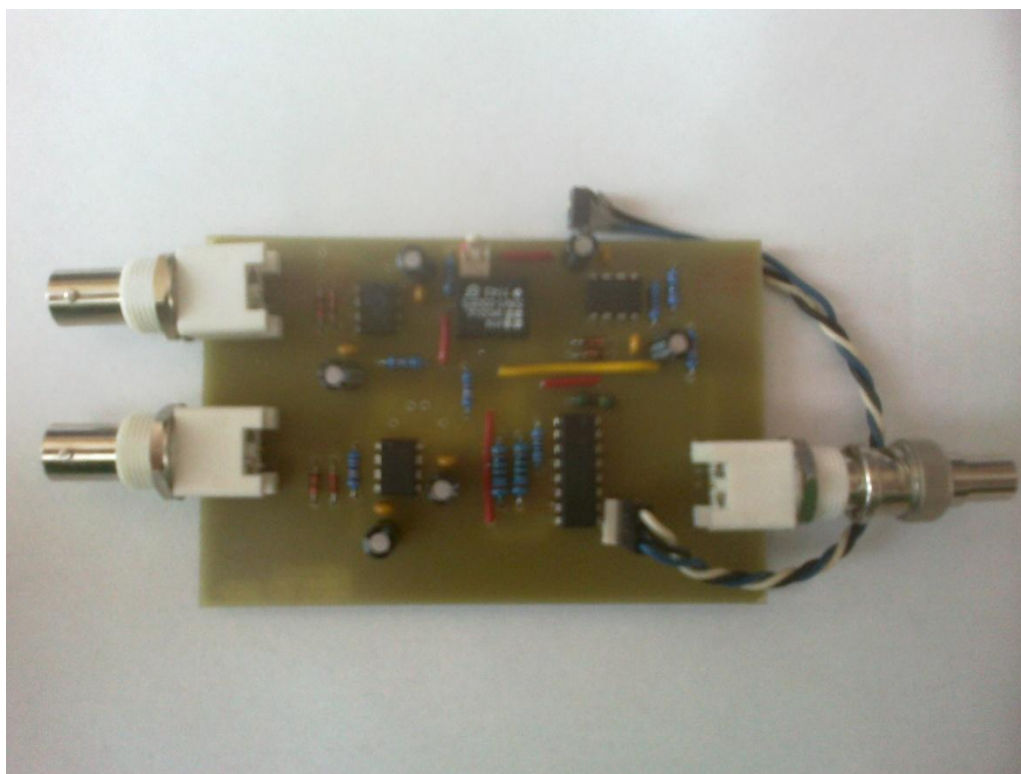
Obr. A 8 Osazovací výkres DPS sondy (Návrh 3)

A 6 Seznam součástek (Návrh 2)

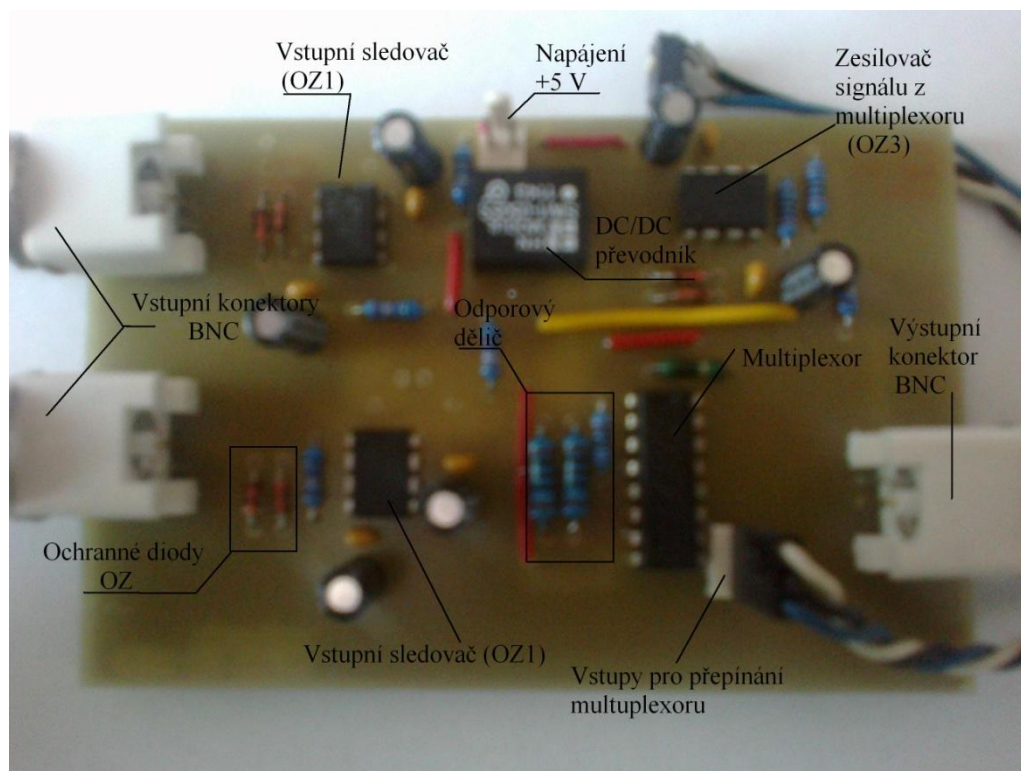
Součástka	Hodnota	Pouzdro
BNC_1	AMP_227161	AMP_227161
BNC_2	AMP_227161	AMP_227161
BNC_3	AMP_227161	AMP_227161
C2	10 uF	C-EL_2
C3	10 uF	C-EL_2
C4	10 uF	C-EL_2
C5	10 uF	C-EL_2
C6	10 uF	C-EL_2
C7	10 uF	C-EL_2
C8	100 nF	C-2,5
C9	100 nF	C-2,5
C10	100 nF	C-2,5
C11	100 nF	C-2,5
C12	100 nF	C-2,5
C13	100 nF	C-2,5
D1	1N4148	DO35-7
D2	1N4148	DO35-7
D3	1N4148	DO35-7
D4	1N4148	DO35-7
D5	1N4148	DO35-7

D6	1N4148	DO35-7
IC1	LT1226	DIL8
IC2	LT1226	DIL8
IC3	AD8001N	DIL8
IC4	CD74HC4052E	DIL16
IC5	SIM1-0505S	DIL8
R1	200	0207/7
R2	50	0207/7
R3	50	0207/7
R4	50	0207/7
R5	50	0207/7
R6	50	0207/7
R7	100	0207/12
R8	200	0207/12
R9	50	0207/7
R10	50	0207/7
R11	200	0207/7
R12	200	0207/7
R13	100	0207/7
SL1	02P	02P
SV1	MA03-1	MA03-1

A 7 Fotodokumentace



Obr. A 9 Fotografie DPS (Návrh 2)



Obr. A 10 Fotografie DPS s popsanými jednotlivými bloky (Návrh 2)



Obr. A 11 Fotografie DPS (Návrh 3)